وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه بناب

گروه مهندسی اپتیک و لیزر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی-مولکولی

عنوان پایان‌نامه:

بررسی اثرات انبساط حجمی بر روی بلور مایع نماتیک پلانر

اساتید راهنما:

دکتر جعفر پورصمد- دکتر مصطفی صحرایی

استاد مشاور:

دکتر حبیب خوش سیما

پژوهشگر:

وحید عابدینی بناب

مهر ۹۱

به نام خدا

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه بناب
گروه مهندسی اپتیک و لیزر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی-مولکولی

عنوان پایان‌نامه:

بررسی اثرات انبساط حجمی بر روی بلور مایع نماتیک پلانر

اساتید راهنما:

دکتر جعفر پورصمد- دکتر مصطفی صحرایی

استاد مشاور:

دکتر حبیب خوش سیما

پژوهشگر:

وحید عابدینی بناب

مهر ۹۱

تقدیم به

پدر عزیزم و مادر مهربانم

باسپاس فراوان از پدر عزیزم که همواره در تمام مراحل تحصیل مهمترین مشوقم بودند.

تشکر بینهایت از مادر مهربانم که در جهت بهبود روحیه ام برای ادامه تحصیل از هیچگونه یاری دریغ نفرمودند.

باسپاس و قدردانی فراوان از استاد خوبم آقای دکتر جعفرپور صمد که مجدانه با صبر و حوصله و تلاش بسیار در تمام مراحل انجام پایان نامه تنها راهنمای اینجانب بودند.

نام: وحید **نام خانوادگی:** عابدینی بناب

عنوان: بررسی اثرات انبساط حجمی بر روی بلور مایع نماتیک پلانر

اساتید راهنما: دکتر جعفر پورصمد و دکتر مصطفی صحرایی

استاد مشاور: دکتر حبیب خوش سیما

درجه: کارشناسی ارشد **رشته:** فیزیک **گرایش:** اتمی-مولکولی

دانشگاه بناب **تاریخ دفاع:** مهر ۱۳۹۱ **تعداد صفحات:** ۸۰

چکیده

بلور مایع ماده ای است از جنس مواد آلی که در یک بازه دمایی معین خواص مشترکی بین فاز جامد و فاز مایع را دارد. مولکول‌های آن معمولا در یک راستا طویل‌تر می‌باشند که راستای محور بزرگتر توده مولکول‌ها را بردار یکه هادی یا دایرکتور می‌نامند که محور اپتیکی نیز شناخته می‌شود. این نوع ساختار مولکولی سبب ناهمسانگردی کمیت های فیزیکی از جمله ضریب شکست نور، ضریب رسانش گرمایی و ضریب جذب گرما می‌شود. ناهمسانگردی ضریب شکست (دوشکستی) باعث ایجاد شیفت فاز نور لیزر عبوری از داخل بلور مایع می‌شود که درتحقیقات اپتیکی بسیار مورد توجه است.

عوامل همچون اعمال میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی و نیروی هیدرودینامیکی خارجی باعث بازچرخش مولکول‌های بلور مایع شود. نیروی هیدرودینامیکی می‌تواند در اثر نیروی مکانیکی خارجی یا انبساط حجمی ناشی از گرم شدن ماده باشدکه ما در این پایان‌نامه مورد دوم را به صورت تئوری بررسی خواهیم کرد. با در نظر گرفتن بلور مایع با ضخامت صد میکرومتر که در داخل یک سلول شیشه‌ای افقی به صورت پلانر یا تخت قرار دارد، نور لیزر با پروفایل تخت را به صورت موازی با صفحات سلول به داخل آن تابش می‌دهیم تا با جذب گرما بلور مایع منبسط شده و با توجه به نیروی چسبندگی بین مولکولی و چسبندگی سطحی با دیواره‌ها، ماده شارش یابد که بازچرخش مولکولها را درپی خواهد داشت.

کلید واژه: بلور مایع[۱]، محور اپتیکی[۲]، دوشکستی[۳]، بازچرخش مولکولی[۴]، نیروی هیدرودینامیکی[۵]، انبساط حجمی[۶]،پلانر[۷]، گرادیان دمایی[۸]، شیفت فاز[۹].

[۱] Liquid Crystal
[۲] Optical axes
[۳] Birefrigrence
[۴] Molecular Reorientation
[۵] Hydrodynamic Force
[۶] Volume Expansion
[۷] Planar
[۸] Tempreture Gradient
[۹] Phase Shift

فهرست مطالب

فصل ۱: بلور مایع ۷

۱-۱) معرفی بلور مایع ۷

۱-۱-۱) ساختار مولکولی بلور مایع ۷

۱-۱-۲) انواع بلور مایع ۸

۱-۱-۳) تهیه نمونه بلور مایع ۱۱

۱-۱-۴) رسانش گرمایی ۱۲

۱-۱-۵) ضریب شکست ۱۳

۱-۱-۶) گذار فردریکز ۱۵

۱-۲) گشتاورهای کشسانی و ویسکوزیته ۱۸

۱-۲-۱) انرژی آزاد فرانک ۱۸

۱-۲-۲) میدان مولکولی و گشتاور کشسانی ۱۹

۱-۲-۳) نظریه پیوستگی و گشتاور ویسکوزیته ۲۱

۱-۲-۴) تعادل گشتاوری ۲۴

۱-۳) انتقال گرما ۲۴

۱-٤) خواص اپتیکی بلور مایع نماتیک ۲۵

۱-۴-۱) امواج عادی و غیر عادی ۲۵

۱-۴-۲) شیفت فاز ۲۹

۱-۵) شرایط مرزی جای‌گیری مولکول‌ها در سطح تماس با دیواره سلول ۲۹

۱-۵-۱) سطح آزاد ۳۰

۱-۵-۲) شرط مرزی جای‌گیری قوی ۳۰

۱-۵-۳) شرط مرزی جای‌گیری ضعیف ۳۰

فصل ۲: بررسی بازچرخش مولکولی در اثر انبساط حجمی در بلور مایع نماتیک ۳۲

۲-۱) معادله تعادل گشتاوری ۳۳

۲-۱-۱) انرژی آزاد فرانک ۳۳

۲-۱-۲) میدان مولکولی و گشتاور کشسانی ۳۴

۲-۱-۳) معادله نویر-استوکس ۳۸

۲-۱-۴) گشتاور ویسکوزیته ۴۳

۲-۱-۵) تعادل گشتاوری ۴۴

۲-۲) معادله انتقال گرما ۴۵

۲-۳) شرایط مرزی در سطح تماس با دیواره‌ها ۴۶

۲-٤) شیفت فاز ۴۷

فصل۳: بررسی نتایج ۵۰

۳-۱) فرضیات و معادلات مسأله ۵۰

۳-۲) انتقال گرما ۵۱

۳-۳) سرعت شارش ۵۳

۳-٤) بازچرخش مولکولی ۵۱

۳-۴-۱) شرط مرزی جایگیری قوی ۵۲

۳-۴-۲) شرط مرزی جایگیری ضعیف ۵۴

۳-۵) شیفت فاز ۶۰

نتیجه‌گیری و پیشنهاد **٦٢**

منابع و مئاخذ **٦٤**

فصل ۱

بلور مایع

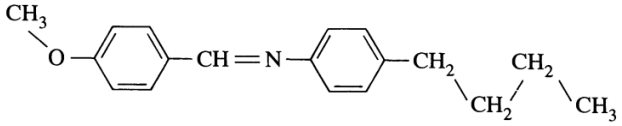
بلور مایع ماده‌ای است که هم برخی خواص جامدات را دارد و در عین حال همانند مایعات قابلیت شارش دارد. این دسته از مواد به دلیل ساختار مولکولی ناهمسانگرد، از لحاظ کمیت‌های فیزیکی همچون ضریب گذردهی الکتریکی، ضریب تراوایی مغناطیسی، ضریب شکست نور، ضریب رسانش گرمایی و ضریب جذب گرما ناهمسانگرد هستند [۱]. یکی از ویژگی‌های خاص این مواد قابلیت بازچرخش مولکول‌های آن است که می‌تواند در اثر اعمال میدان الکتریکی و مغناطیسی و نیز نیروهای کشسانی و ویسکوزیته باشد که ما در این پایان‌نامه با بررسی شارش بلور مایع در داخل سلول شیشه‌ای بازچرخش مولکول‌ها را به صورت تئوری بررسی خواهیم کرد. ما با بررسی پدیده انبساط حجمی در اثر تابش نور لیزر و جذب گرما توسط بلور مایع و بدنبال آن انبساط حجمی بلور مایع داخل سلول شیشه ای، بازچرخش مولکولی ایجاد شده در اثر شارش را تحلیل و به بررسی پدیده اپتیک غیر خطی[۱۰] [۳-۱] در آن خواهیم پرداخت.

۱-۱) معرفی بلور مایع

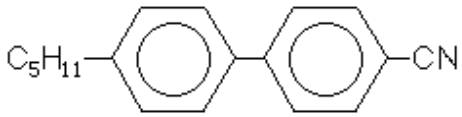
۱-۱-۱) ساختار مولکولی بلور مایع

[۱۰] Optical Nonlinearity

این مواد معمولا به صورت ترکیبی از مشتقات مواد آلی از جمله حلقه های بنزن[۱۱]،گروه آلکیل‌ها[۱۲] (C_nH_{2n+1})، آلکوکسی‌ها[۱۳] ($C_nH_{2n+1}O$)، آلکیل کربنات[۱۴]، آلکوکسی کربنیل[۱۵]، نیترو[۱۶] و سیانو[۱۷] هستند. هستند. تمامی خواص فیزیکی و اپتیکی بلور مایع به این گروه‌های آلی و نحوه قرار گرفتن آنها در کنار هم بستگی دارد. ثابت های دی الکتریک، کشسانی[۱۸]، ویسکوزیته[۱۹]، طیف جذبی، دمای گذار[۲۰]، ناهمسانگردی و غیرخطیت اپتیکی از جمله این کمیت‌ها است. دو نمونه از معروفترین و پرکاربردترین این مواد MBBA و 5CB هستند که ساختار مولکولی آنها به ترتیب در شکل‌های ۱-۱ و ۱-۲ نشان داده شده است [۱].



شکل۱-۱) ساختار مولکولی MBBA (MethoxyBenzilideneButylAniline)

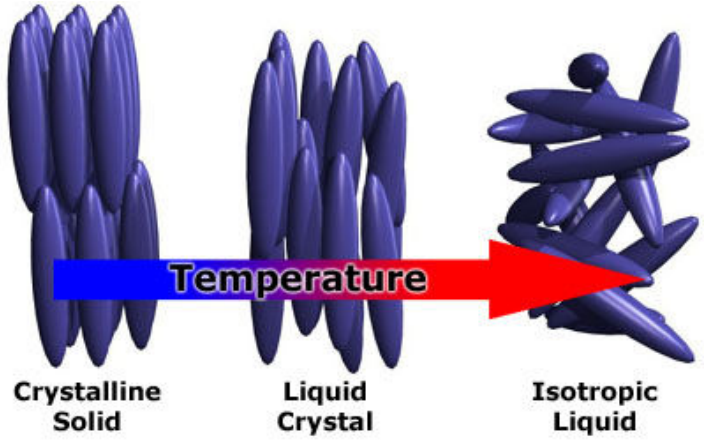


شکل ۱-۲) ساختار مولکولی 5CB (PentylCyanoBiphenyl)

۱-۱-۲) انواع بلور مایع

[۱۱] Benzene
[۱۲] Alkyl
[۱۳] Alkoxy
[۱۴] Alkyl Carbonate
[۱۵] Alkoxy Carbonyl
[۱۶] Nitro
[۱۷] Cyano
[۱۸] Elasticity
[۱۹] Viscosity
[۲۰] Transition Tempreture

در بلورهای مایع غالبا مقدار یکی از کمیت‌های فیزیکی از جمله غلظت محلول، سختی مولکول و وابستگی دمایی تعیین کننده حالت آن ماده است که بر این اساس این مواد به ترتیب به سه نوع لیوتروپیک[۲۱]، پلیمریک[۲۲] و ترموتروپیک[۲۳] تقسیم می‌شوند[۲]. از این سه نوع بلور مایع، ترموتروپیک‌ها مورد استفاده فراوان قرار دارند و مطالعات بسیاری پیرامون خواص اپتیک خطی و غیر خطی آنها صورت گرفته است و به دلیل وابستگی شدید حالت این دسته از بلورهای مایع به دما، ترموتروپیک نامیده می‌شوند [۱].



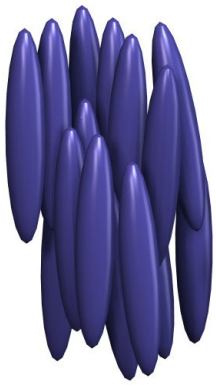
شکل ۱-۳) تغییر فاز بلور مایع ترموتروپیک در اثر افزایش دما

مولکول‌های بلور مایع معمولا در یک راستا طویل‌تر هستند و نمونه مورد بررسی ما با توجه به شکل ظاهری‌شان به صورت میله‌ای صلب در نظر گرفته می‌شوند که بسته به چگونگی قرارگیری مولکول‌ها در کنار هم در یک توده به سه دسته نماتیک[۲۴]، کلستریک[۲۵] و سمکتیک[۲۶] تقسیم‌بندی می‌شوند [۱].

شکل ۱-۴ بلور مایع نوع نماتیک را نشان می‌دهد که در یک توده مولکول‌ها در یک سمت جهت‌گیری کرده‌اند. جهت آنها را با بردار یکه $\hat{n}$ نشان می‌دهیم وآن را بردار هادی یا دایرکتور می‌نامیم. یکی از ویژگی‌های جالب نماتیک‌ها تقارن مرکزی آنها است به طوری که خواص فیزیکی در جهات $\hat{n}$- و $\hat{n}$+

[۲۱] Lyotropic
[۲۲] Plymeric
[۲۳] Thermotropic
[۲۴] Nematic
[۲۵] Cholesteric
[۲۶] Smectic

یکسان هستند، برای مثال تک‌تک مولکول‌ها که دارای دوقطبی الکتریکی هستند، گشتاور دوقطبی الکتریکی کل توده بلور مایع نماتیک به دلیل این تقارن صفر است.

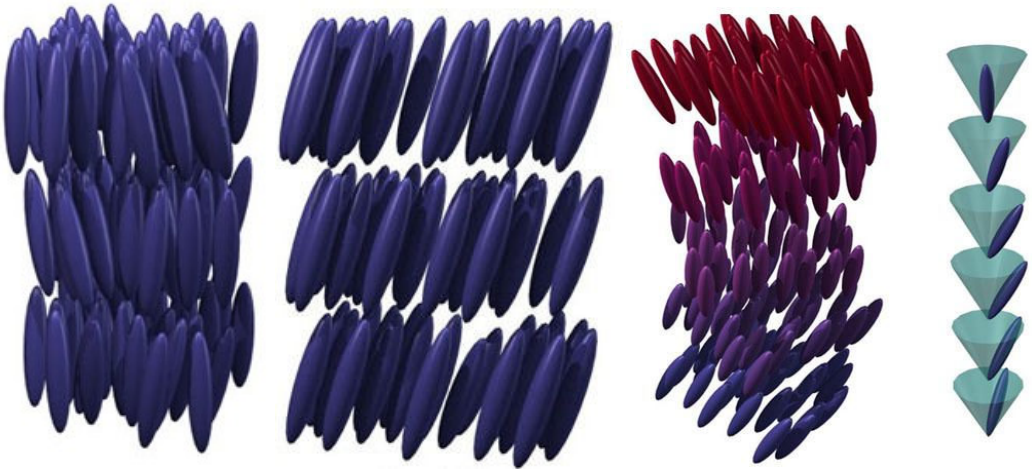


شکل ۱-۴) بلور مایع نماتیک

کلستریک‌ها از چند لایه نماتیک وار تشکیل شده‌اند که در لایه‌ها محور دایرکتور نسبت به لایه پایینتر مقداری دوران یافته است. شکل ۱-۵ نشان دهنده موقعیت مولکول‌ها نسبت به هم در این نوع بلور مایع است.

شکل ۱-۵) طرز قرار گیری مولکول‌ها در بلور مایع کلستریک

سمکتیک‌ها نیز دسته‌ای از ترموتروپیک‌ها هستند که خود دارای زیرشاخه‌های متعددی هستند و در شکل زیر نحوه قرارگیری مولکول‌ها در سه زیرشاخه معروف آن نشان داده شده است.



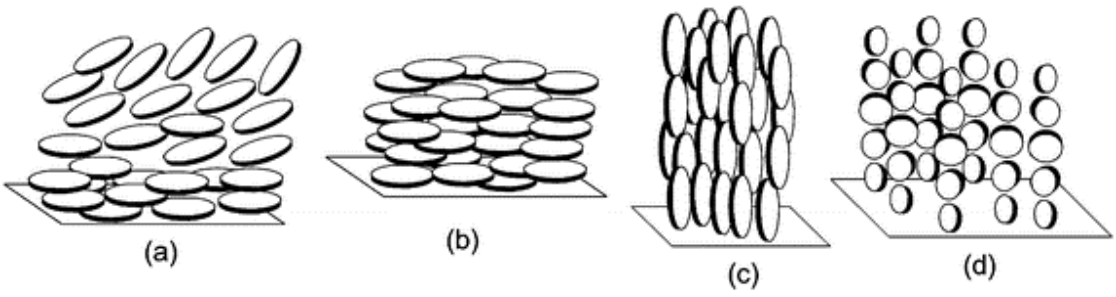
(الف) (ب) (ج)

شکل ۱-۶) الف) Smectic-A ب) Smectic-C ج) Smectic-C*

۱-۱-۳) تهیه نمونه بلور مایع

بلورهای مایع نماتیک که معمولا در لوازم الکترو-اپتیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد رفتار بسیار مشابهی با مایعات دارند. با ایجاد الگوی قرارگیری مولکول‌ها در سطح تماس با شیشه با روش های مختلف مانند سایش سطح سلول با مواد زبر در یک جهت خاص [۴] و یا تزریق ذرات فروالکتریک و سپس اعمال میدان الکتریکی ثابت و در نتیجه همجهت کردن مولکول‌های بلور مایع با خود [۶و۵]، می‌توان انواع حالت‌های نماتیک را بوجود آورد که چهار مورد از رایج‌ترین آنها عبارتند از: هموتروپ[۲۷]، پلانر[۲۸]، هیبرید[۲۹] و تویست[۳۰] (شکل ۱-۷).

[۲۷] Hometropic
[۲۸] Planar
[۲۹] Hybrid
[۳۰] Twist



شکل ۱-۷) انواع بلور مایع نماتیک بر حسب طرز جهتگیری محور دایرکتور در داخل سلول شیشه‌ای a) هیبرید b) پلانر c) هموتروپ d) تویست

در نوع هیبرید مولکول‌ها در یک سطح مماس با سطح و در سطح مقابل به صورت عمود بر دیواره قرار دارند، در نوع پلانر مولکول‌ها در دو سطح تماس مماس با دیواره‌ها و در نوع هموتروپ عمود بر دیواره‌ها قرار گرفته‌اند. در نوع تویست نیز مولکول‌ها در هردو سطح مماس با دیواره‌ها هستند با این تفاوت که مولکول‌های هر لایه نسبت به لایه مجاور مقداری دوران یافته‌اند.

۱-۱-٤) ضریب رسانش گرمایی

همانطور که قبلا اشاره شد به دلیل شکل استوانه‌ای مولکول‌های بلور مایع، کمیت‌های فیزیکی از جمله ضریب رسانش گرمایی ناهمسانگرد می‌باشند به طوری که در راستای موازی با بردار دایرکتور و عمود بر آن دارای مقادیر متفاوتی است و مطابق رابطه زیر رابط بین شار گرما q_i و گرادیان دمایی $\frac{\partial T}{\partial x_j}$ است :

$$q_i = -k_{ij}\frac{\partial T}{\partial x_j} \qquad (۱-۱)$$

که k_{ij} به عنوان تانسور مرتبه ۲ به صورت مجموع دو عبارت زیر تعریف می‌شود:

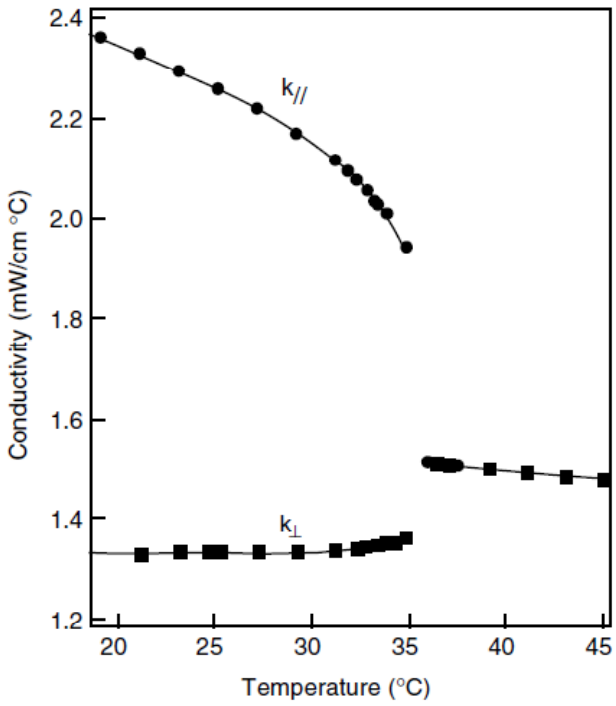
$$k_{ij} = k_{iso}\delta_{ij} + k_a(n_i n_j - \frac{\delta_{ij}}{3}) \qquad (۲-۱)$$

که در آن

$$k_{iso} = \frac{k_{\parallel}+2k_{\perp}}{3} \qquad (۳-۱)$$

$$k_a = k_{\parallel} - k_{\perp} \qquad (۴-۱)$$

$k_{\parallel}$ و $k_{\perp}$ به ترتیب نشان دهنده ضریب رسانش گرمایی در راستای موازی و عمود بر بردار دایرکتور هستند. این مقادیر اولین بار برای MBBA و اخیرا برای 5CB به صورت تجربی محاسبه شده‌اند که نتایج تجربی برای 5CB در شکل ۱-۸ نشان داده شده است [۷و۱].



شکل ۱-۸) تغییرات ضرایب رسانش گرمایی 5CB در اثر افزایش دما

همانطور که در شکل دیده می‌شود در بازه دمایی که در آن 5CB به صورت بلور مایع است ضرایب رسانش در راستاهای موازی و عمود بر محور دایرکتور دارای مقادیر متفاوتی هستند و بعد از دمای گذار که ماده به حالت همسانگرد تبدیل می‌شود، ناهمسانگردی ضریب رسانش نیز از بین می‌رود. در این پایان‌نامه به

دلیل تغییرات دمایی کوچک از وابستگی دمایی ضرایب رسانش به دما صرفنظر خواهیم کرد (اثر بوزینسکیو)[۳۱] [۸].

۱-۱-۵) ضریب شکست

چنانچه قبلا نیز اشاره شد بلور مایع نماتیک به دلیل شکل خاص مولکولی دارای ناهمسانگردی در کمیت‌های فیزیکی از جمله ضریب شکست است، طوری که مقادیر ضریب شکست در راستای موازی با دایرکتور یا همان محور اپتیکی $n_{\parallel}$ و عمود بر آن $n_{\perp}$ کمی متفاوت هستند. وابستگی دمایی ضریب شکست ناشی از وابستگی دمایی ثابت دی الکتریک است که خود تابعی از نظم مولکولی و چگالی می‌باشد. ضریب شکست 5CB در چند ناحیه طیف امواج الکترومغناطیسی در نمودار زیر برحسب داده‌های تجربی نشان داده شده است [۱۰و۹].

[۳۱] Boussinesq Effect